

**Jänner-April 2011**

*Internetrecherchen von Josef Nohsislavsky*

[http://www.boxer99.de/photovoltaik\\_lichtenergie.htm](http://www.boxer99.de/photovoltaik_lichtenergie.htm)

## **Photovoltaik - physikalische Grundlagen**

### **Lichtenergie der Sonne**

*Lichtenergie der Sonne (Sonnenstrahlung) ist eine elektromagnetische Strahlung mit einer Energie von  $8 \text{ J}/(\text{cm}^2 \times \text{min.})$  bzw.  $1,35 \text{ kW}/\text{m}^2$  (Solarkonstante). Die Strahlung umfaßt ein Spektrum von  $10^{-16} \text{ m}$  bis  $10^6 \text{ m}$  Wellenlänge. Sie wird unterteilt in ionisierende Strahlung, optische Strahlung und Hochfrequenzstrahlung. Die Strahlung wird verursacht durch die Reaktion von Wasserstoffatomkernen (Protonen) zu Heliumatomkernen (Kernfusion) mit über 10 Millionen °C im Kern der Sonne. Die Strahlung, die die Erde erreicht, stammt aus einem äußeren Bereich der Sonne, die Temperatur an der Sonnenoberfläche beträgt nur noch ca. 5000-6000 °C.*

### Ionisierende Strahlung

Kosmische Strahlung	$10^{-16} - 10^{-12} \text{ m}$
g -Strahlung	$10^{-14} - 10^{-12} \text{ m}$
Röntgenstrahlung	$10^{-12} - 10^{-7} \text{ m}$

### Optische Strahlung

UV-Strahlung	$10^{-7} - 3,8 \times 10^{-7} \text{ m}$
sichtbares Licht	$3,8 \times 10^{-7} - 7,8 \times 10^{-7} \text{ m}$
Infrarot-Strahlung	$7,8 \times 10^{-7} - 10^{-3} \text{ m}$

### Hochfrequenzstrahlung

UKW, Mittelwelle, Langwelle, TV, Radar	$10^{-3} - 10^6 \text{ m}$
---	----------------------------

Die höchste Strahlungsintensität und damit den Hauptanteil der Energie liefert der Bereich des sichtbaren Lichts von 380-780 nm Wellenlänge (blau-rot) mit ca. 50 %, gefolgt von der Infrarot-Strahlung mit ca. 49 % und der UV-Strahlung mit ca. 1 % (bezogen auf Meeresspiegelhöhe). Die Pflanzen auf der Erdoberfläche haben sich daran angepaßt, indem sie gerade diesen Wellenlängenbereich absorbieren und in biochemische Energie umwandeln können. Die Wellenlänge des Lichts ist negativ korreliert mit der Energiemenge der einzelnen Lichtquanten, denn die Energiemenge der Lichtquanten (Photonen) berechnet sich aus der Frequenz der Strahlung multipliziert mit der Planck'schen Konstanten. Für den Bereich des sichtbaren Lichtes beträgt die Strahlungsenergie zwischen 1,59 und 3,26 Elektronenvolt (eV).

Diese Eigenschaften sind unter anderem für Heizungen ideal. Sie schaffen ein gutes [Raumklima](#) das Befeuchtungsanlagen überflüssig macht und zudem die Wärme sehr gleichmäßig über den Raum verteilt. Eine [Infrarot-Hallenheizung](#) wäre hierbei eine einfach zu installierende Heizungsform. Schöner Nebeneffekt auch hier: die [Abkoppelung](#) von ständig steigenden Öl- und Gaspreisen.

## Photovoltaik - photovoltaischer Effekt

Wird der Grenzbereich der beiden Halbleiter mit Lichtenergie bestrahlt, so werden die Photonen von weiteren Elektronen absorbiert, die durch deren Energie zu Leitungselektronen werden und entsprechend des elektrischen Feldes in den n-dotierten Halbleiter gezogen werden (photovoltaischer Effekt). Diese zusätzlichen Ladungsträger können nunmehr durch einen angeschlossenen Stromkreis fließen (Gleichstrom). Dieser Zusammenhang gilt auch für Elektronen oder Löcher, die sich außerhalb der Raumladungszone befinden und mit Lichtenergie bestrahlt werden, soweit ihre Diffusionslänge ausreicht um bis in den Bereich des elektrischen Feldes zu diffundieren.

Die Absorption der Photonen erfolgt nur, wenn die Strahlungsenergie größer ist als die Niveaudifferenz zwischen Leitungs- und Valenzelektronen (Energilücke). Für die Verwendung als Halbleiter in Solarzellen eignen sich demzufolge nur Materialien, die u.a. eine entsprechende Energilücke aufweisen, z.B.:

Si	1,11 eV
GaAs	1,40 eV
CdTe	1,45 eV
GaP	2,23 eV
CdS	2,40 eV

## Photovoltaik - Solarzellen

Das Kernelement einer Solarzelle stellt der Halbleiter dar. Zum Einsatz kommen üblicherweise Siliziumzellen (über 90 %). Solarzellen sind in der Lage, sowohl den Anteil direkter als auch den Anteil diffuser Sonnenstrahlung zu nutzen.

Die Leistung der Solarzelle (Stromstärke  $I$  x Spannung  $U$ ) erreicht zwischen null Stromstärke (Leerlauf) und null Stromspannung (Kurzschluß) ihren Höchstwert MPP (Maximal Power Point). Der MPP ist derjenige Punkt auf der gesamten  $I$ - $U$ -Kennlinie, welcher das Maximum für das Produkt aus Stromstärke  $I$  und Spannung  $U$  aufweist. Die MPP-Leistung bei einer Einstrahlung von  $1 \text{ kW/m}^2$  und  $25 \text{ °C}$  stellt die Nennleistung einer Solarzelle dar. Das Verhältnis von MPP-Leistung zu der fiktiven Leistung aus Kurzschluß-Stromstärke und Leerlauf-Stromspannung wird als Füllfaktor bezeichnet und gilt als Qualitätsmaßstab einer Solarzelle (Wert zwischen 0 und 1). Der Wirkungsgrad von Solarzellen (Verhältnis von MPP-Leistung zu eingestrahelter Lichtenergie) lag bislang etwa bei 15 %, bei neueren Solarzellen etwa 19-23 %. Gängige Solarzellen erzeugen eine Spannung von ca. 0,4-0,8 V mit geringer Strahlungsabhängigkeit und eine Stromstärke von ca. 1-4 A ( $500\text{-}1000 \text{ W/m}^2$  Einstrahlung und  $100\text{-}225 \text{ cm}^2$  Fläche). Der erzeugte Strom ist ein Gleichstrom.

Der Wirkungsgrad ist stark abhängig vom verwendeten Halbleitermaterial. So erreichen Zellen aus monokristallinem Silizium ca. 15-17 %, Zellen aus polykristallinem Silizium ca. 13-14 % und Zellen aus amorphem Silizium ca. 6 %. Die Herstellungskosten der Halbleitermaterialien folgen der gleichen Reihenfolge. Generell liegt aufgrund physikalischer Gegebenheiten, wie z.B. des ausnutzbaren Photonenspektrums, der theoretische Maximalwirkungsgrad für die meisten Halbleiter etwa zwischen 28 % und 45 %. Die teilweise in der Presse

publizierten Wirkungsgrade für Siliziumzellen von über 20 % beziehen sich auf Ergebnisse in Forschungslabors und nicht auf Serienprodukte von Solarzellen. Eine Spitzenstellung nimmt hierbei das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE) mit einem Wirkungsgrad von 23,3 % bei einer monokristallinen Siliziumzelle ein.

Siliziumzellen sind in der Regel quadratisch, mit 10 oder 15 cm Kantenlänge. Die aktive Dicke beträgt üblicherweise ca 0,1 mm. Für die Zusammenschaltung von Solarzellen zu Solarmodulen bestehen die Möglichkeiten der Reihen- und der Parallelschaltung. Bei der Parallelschaltung werden die Stromstärken addiert und die Spannung bleibt etwa bei der Spannung der Einzelzelle. Die Parallelschaltung ist deshalb unüblich. Bei der Reihenschaltung werden die erzeugten Spannungen addiert und die Stromstärke bleibt etwa bei der Stromstärke der Einzelzelle. Verbreitet sind Module mit 36, 54 oder 108 Solarzellen, die entsprechend bis ca. 100 W Leistung erbringen. Zusammengeschaltete Solarzellen sollten in etwa die gleichen elektrischen Kennwerte aufweisen bzw. aus einer Baureihe sein.

Zurzeit wird die Energie aus Photovoltaik-Anlagen im privaten Bereich zwar überwiegend zur Stromeinspeisung genutzt, aber mit fortschreitender Technik - und Notwendigkeit - könnten sich die Anwendungsbereiche bald auch auf die Beleuchtung ausweiten. Die Leistungen der Solarzellen reichen schon heute vollständig aus, um Lampen auch zum Beleuchten zu bringen und nicht nur dekoratives Objekt mit einem zarten Helligkeitsschimmer zu sein. So könnten also beispielsweise Lirio Leuchten durchaus mithilfe von Solarzellen auf dem eigenen Hausdach betrieben werden, wobei hinsichtlich des zeitlichen Versatzes von Stromgewinnung und Strombedarf auch im Haushaltsbereich noch deutliche technische Fortschritte sowohl nötig als auch zu erwarten sind.